

⑯ BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND

**DEUTSCHES  
PATENTAMT**

④ Patentschrift  
④ DE 3212928 C2

(5) Int. Cl. 3:  
H 01 S 3/02

243 / 300 AI p.2

INE 3212928 C2

- 21) Aktenzeichen:** P 32 12 928.9-33  
**22) Anmeldetag:** 7. 4. 82  
**23) Offenlegungstag:** 20. 10. 83  
**25) Veröffentlichungstag**  
der Patenterteilung: 26. 1. 84

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

**⑦ Patentinhaber:**

Lambda Physik GmbH, 3400 Göttingen, DE

## ⑦2 Erfinder:

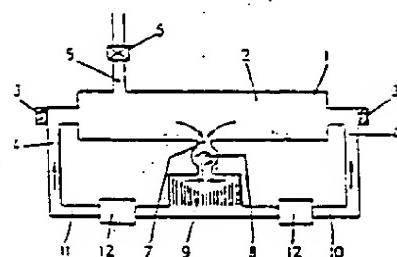
Hohla, Kristian, Dr.; Albers, Ernst, Dr., 3400  
Göttingen, DE

66- Im Prüfungsverfahren entgegengehaltene Druckschriften nach § 44 PatG:

DE-OS 25 34 322  
Beth-Handbuch: Staubtechnik, Selbstverlag  
Maschinenfabrik Beth GmbH, Lübeck 1964, S. 18-22.  
Laser Focus, Oktober 1981, S. 65-68;  
Review Scientific Instruments 52(1981), Nr. 11,  
S. 1655, 1656;

## 54 Entladungsgepumpter Laser

Ein entladungsgepumpter Laser mit einem Gasgemisch (2) enthaltenden Entladungsgefäß (1) besitzt im Bereich der Fenster (3) Gaseinlässe (4) und im übrigen einen Gasauslaß (7). Über Leitungen (10 und 11) und eine Umwälzpumpe (8) ist eine Reinigungseinrichtung in Form eines Elektrofilters (9) vorgesehen, um das Gasgemisch ohne Änderung seiner Zusammensetzung von Staubpartikeln zu reinigen. Der Gaskreislauf ist außerdem mit einer Ruhezone (12) für das den Gaseinlässen (4) zugeleitete Gasgemisch versehen.



DE 3212928.C2

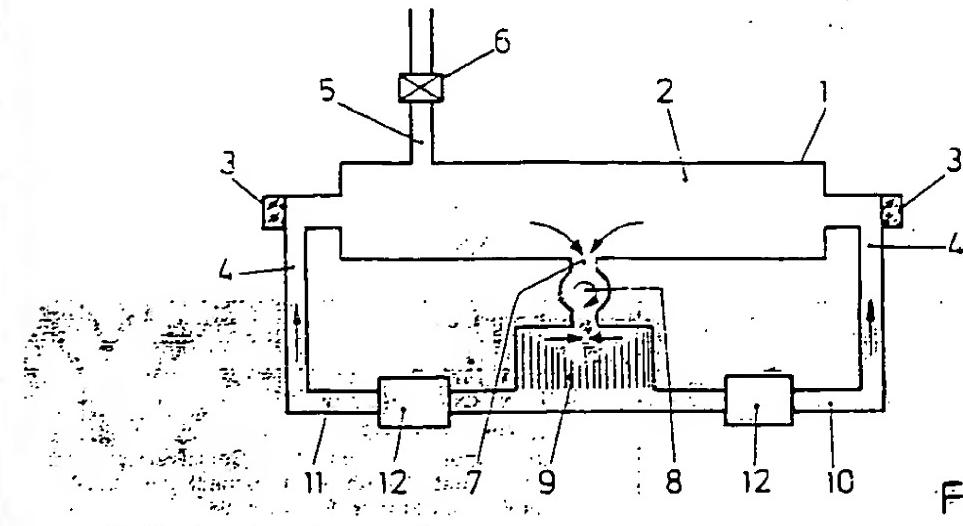


Fig. 1

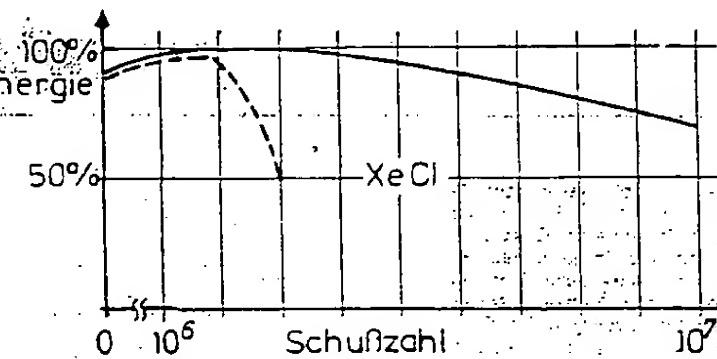


Fig. 2

## Patentansprüche:

1. Entladungsgepumpter Laser mit einem ein Gasgemisch enthaltenden Entladungsgefäß, welches im Bereich der Fenster Gaseinlässe und im übrigen einen Gasauslaß aufweist und über Leitungen und eine Umwälzpumpe an eine Reinigungseinrichtung angeschlossen ist, dadurch gekennzeichnet, daß als Reinigungseinrichtung ein Elektrofilter (9) vorgesehen ist und der Gaskreislauf mit einer Ruhezone für das den Gaseinlässen (4) zugeleitete Gasgemisch versehen ist.

2. Laser nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Elektrofilter (9) gleichzeitig als Ruhezone ausgebildet ist.

3. Laser nach Anspruch 1 und 2, dadurch gekennzeichnet, daß die an die Vortionisierung wie auch an die Kollektoren des Elektrofilters angelegten Spannungen auf die Teilchensorte und -größe abgestimmt sind.

Die Erfindung bezieht sich auf einen entladungsgepumpten Laser mit einem ein Gasgemisch enthaltenden Entladungsgefäß, welches im Bereich der Fenster Gaseinlässe und im übrigen einen Gasauslaß aufweist und über Leitungen und eine Umwälzpumpe an eine Reinigungseinrichtung angeschlossen ist. Ein Laser dieser Art ist aus Laser Focus, Oktober 1981, S. 65–68 bekannt.

Bei Glaslasern, die durch eine elektrische Entladung angeregt werden, tritt häufig ein Alterungsprozeß auf. Zum einen wird das Gas verbraucht, da es in den Entladungszonen zu chemischen Umsetzungen kommt, zum anderen beobachtet man die Bildung von Staubteilchen bzw. von Aerosolen. Für die Bildung der Staubteilchen sind mehrere, im Detail noch nicht ganz erklärbare Prozesse verantwortlich. Eine große Rolle spielt der Elektrodenabbrand: Die Gassentladung erfolgt zwischen zwei Elektroden, an denen eine elektrische Spannung anliegt. Bei genügender elektrischer Leitfähigkeit des Gases oder Gasgemisches fließt ein Strom, der an der Grenzfläche zwischen Gas und Elektrodenmaterial zu einer erheblichen Belastung der Elektrodenoberfläche führt. Sowohl die lokale Erhitzung als auch die mechanische Belastung im atomaren Bereich durch im elektrischen Feld beschleunigte geladene Teilchen bewirken eine Erosion der Elektroden. Die herausgeschlagenen mikroskopisch kleinen Teilchen bilden Staub, der mit dem Gas oder Gasgemisch in den gesamten Innenraum des Lasers gelangt und in vielfacher Hinsicht stört. Die Laserwirkung bzw. die Lasertätigkeit wird in mehrfacher Weise beeinflußt:

1. Der Staub schlägt sich an elektrisch isolierenden Teilen nieder. Aufgrund der Veränderung der Oberfläche ändern sich die Isolationseigenschaften. Es können sich Nebenentladungen oder sogar kurzschnürtige Entladungskanäle aussäubern, die die Funktion des Lasers zum Erliegen bringen.
2. Der Staub wirkt als ein Filter für die Laserlichtstrahlung. Die Streuung an den Staubteilchen führt zu einer Verminderung der Ausgangsleistung von Lasern. Dieser Effekt tritt besonders stark bei Lasern auf, die UV-Licht aussenden, da die

Streuung sehr stark zu kürzeren Wellenlängen hin anwächst.

3. Der Staub kann sich nicht nur an den isolierenden Wänden des Lasers niederschlagen sondern auch an den optischen Komponenten. In der Regel ist der Laser durch zwei optische Fenster abgeschlossen. Diese Fenster werden durch den Staub belegt und die Transmission der Fenster nimmt ab.

Neben den Problemen, die mit dem Vorhandensein und der Verteilung von Staubteilchen auftreten, werden in Gaslasern gasförmige Verunreinigungen gebildet, die einerseits die physikalischen Vorgänge in der Gasentladung verändern können und andererseits durch starke Absorption die Ausgangsleistung erheblich vermindern.

Um den beschriebenen Nachteilen und der damit verbundenen Verkürzung der Lebensdauer derartiger Laser entgegenzuwirken, wurden bereits verschiedene Lösungsvorschläge gemacht. Da der Staub vornehmlich in der Entladungszone entsteht, soll durch die Strömungsführung des Gasgemisches erreicht werden, daß der Staub schnell aus dem gefährdeten Bereich abgeführt wird und sich in einem ungefährdeten Teil des Strömungskreislaufes absetzt. Damit läßt sich jedoch eine generelle Lösung nicht erzielen, weil es sich nicht vermeiden läßt, daß ein kleiner Teil des Staubes sich trotzdem im Nahbereich der Entladung niederschlägt. Zusätzlich entstehen insbesondere bei gepulsten Entladungen Druckwellen, die diese Staubpartikel in die gefährdeten Bereiche hineintransportieren.

Weiterhin ist es bekannt, besonders anfällige Teile des Entladungsbereiches oder des Lasers durch laufende Zugabe von frischem Lasergas bzw. Gasgemisch, das also noch nicht mit Staub beladen ist, zu spülen und damit von Staub freizuhalten. Dies führt zwar zu einer Reinhaltung der bespülten Teile, hat aber den Nachteil eines großen Gasverbrauchs. Um diesen Gasverbrauch zu reduzieren, ist von Ph. N. Mace: State-of-the-art in discharge-pumped excimer laser systems in the United States, Second Australian Laser Conference, Canberra, Aus., 1/9–4/9 1981, LA-UR-81-2541 Los Alamos Scientific Laboratory, ein Gasführungssystem vorgeschlagen worden, von dem die vorliegende Erfindung ausgeht. Dabei werden in einem Teilgasstrom mit Hilfe einer Reinigungseinrichtung und einer Umwälzpumpe wesentliche Gaskomponenten, nämlich die Halogen-Komponenten, und mit ihnen die Verunreinigungen abgeschieden. Diese Gaskomponente liegt zwar nur in geringer Konzentration vor, so daß das abgeschiedene Gas in gleicher Menge dem Kreislauf jeweils kontinuierlich zugeführt werden muß. Nach der Abscheidung dieses Gases, bei dem nur die Halogen-Komponenten erfaßt werden, wird der verbleibende Anteil Gas aus dem Gasgemisch den im Bereich der Fenster des Entladungsgefäßes vorgesehenen Gaseinlässen wieder zugeführt, wodurch eine Spülung der Fenster mit diesem Gas erfolgt. Dieser Prozeß, der auch von R. Tenant in Control of Contaminants in XeCl Lasern, Laser Focus October 1981, S. 65–68 beschrieben wurde, ist aufwendig und teuer.

In einer weiteren Literaturstelle (K. O. Kutschke, P. A. Hukkett und C. Wills »Rev. Sci. Instrum. 52 (11)« Nov. 1981, S. 1655, 1655) wird ein Verfahren beschrieben, bei dem insoweit ein umgekehrter Weg beschritten wird, als dort nicht das Gas auf Kosten des Halogen-Gases gereinigt wird, sondern die teuerste Komponente aus dem Gasgemisch wieder aufbereitet wird. Dabei wird der weitaus größte Anteil, nämlich die preiswerteren

Gaskomponenten entfernt und jeweils durch frisches Gas ersetzt. Auch dieses Verfahren ist aufwendig und teuer, so daß sich eine Amortisation erst bei sehr langem Betrieb ergeben würde. In der bezeichneten Literaturstelle wird von 100 Tagen Betriebszeit gesprochen. Hierbei wird eine Betriebsdauer von 5 Stunden pro Tag vorausgesetzt, während der der Laser mit 100 Hz Repetitionsrate arbeitet.

Die DE-OS '5 34 322 zeigt einen Jodlaser mit einer Reinigungsvorrichtung für das umgepumpte Gas, die in den Endbereichen des Entladungsgefäßes angeschlossen ist. Hierbei werden jedoch nicht die Fenster mit sauberem Gas gespült, sondern das gesamte umgepumpte Gas wird am einen Ende entnommen gereinigt und am anderen Ende wieder zugeführt. Die Reinigungsvorrichtung weist einen Staubabscheider auf. Außer dieser Reinigungsvorrichtung ist im Kreislauf noch eine Vorrichtung zum Ergänzen des Gases vorgesehen.

Aus dem Beih.-Handbuch: Staubtechnik, Selbstverlag Maschinenfabrik Beth GmbH, Lübeck 1964, S. 18-22, ist eine Beschreibung der Entwicklung der industriellen Entstaubung, insbesondere bezogen auf die Hüttenindustrie, bekannt. Dabei werden als Staubabscheider Tuchfilter und Elektroentstauber beschrieben.

Zusammenfassend läßt sich feststellen, daß die in der Literatur beschriebenen Verfahren bei entladungsgepumpten Lasern solche Reinigungseinrichtungen für das umgewälzte Lasermedium vorschlagen, bei denen wesentliche Komponenten des Gasgemisches verbraucht werden, die dann durch eine aufwendige Nachfüllung ersetzt werden müssen.

Der Erfundung liegt die Aufgabe zugrunde, einen Laser der eingangs beschriebenen Art derart weiterzubilden, daß eine Reinigung des Gasgemisches zur Erhöhung der Lebensdauer des Lasers erfolgt, ohne daß Gaskomponenten ergänzt werden müssen, um die ursprüngliche Gaszusammensetzung beizubehalten.

Erlangungsgemäß wird dies dadurch erreicht, daß als Reinigungseinrichtung ein Elektrofilter vorgesehen ist und der Gaskreislauf mit einer Ruhezone für das den Gaseinlässen zugeleitete Gasgemisch versehen ist. Damit ist es möglich, einen Teil oder die gesamte Gasmenge über das Elektrofilter zu leiten und hier die Staubpartikel, nicht aber Gaskomponenten, abzuscheiden. Hierdurch ändert sich die Gaszusammensetzung nicht. Es geht das Gasgemisch nach der Passage durch den Elektrofilter als Spülgas zur Verfügung, welches den gefährdeten Komponenten, insbesondere den Fenstern zugeleitet wird. Damit wird die die Lebensdauer der optischen Komponenten begrenzende Verschmutzung durch die staubförmigen Partikel aufgehoben und die Lebensdauer des Lasers erhöht. Es ist aber nicht nur die Anwendung des Elektrofilters, sondern auch die gleichzeitige Bereitstellung einer Ruhezone von besonderer Bedeutung. In dieser Ruhezone findet eine Regenerierung eines Teiles des Gasgemisches statt, das regeneriert in gefährdeten Bereiche des Lasers eingespielt wird, um die störenden Staubablagerungen zu verhindern.

Der Elektrofilter kann gleichzeitig als Ruhezone ausgebildet sein, d.h. durch seinen gegenüber den Leitungen vergrößerten Durchflußquerschnitt tritt eine Beruhigung der Strömung verbunden mit einer Erhöhung der Verweilzeit auf, so daß eine Regenerierung eines Teiles des Gasgemisches möglich wird. In dem Elektrofilter sind die an die Vorionisierung wie auch an die Kollektoren des Elektrofilters angelegten Spannun-

gen auf die Teilchensorte und -größe der abzuscheidenden Staubpartikel abgestimmt. Der Elektrofilter kann sowohl in das Entladungsgefäß integriert werden als auch in einen Gaskreislauf mit entsprechenden Leitungen eingesetzt sein. Durch die Wahl der Strömungsgeschwindigkeit in dem Elektrofilter kann der Reinheitsgrad eingestellt werden. Wegen der kleinen Strömungsgeschwindigkeiten und der damit verbundenen Verweilzeit im Elektrofilter bzw. in den Ruhezonen reagieren auch gasförmige Verunreinigungen wieder zurück. Damit wird nicht nur die Reinigung von Staubteilchen erreicht, sondern überraschenderweise auch eine Reduktion der störenden gasförmigen Bestandteile erzielt. Da die gefährdeten Komponenten mit gereinigtem Gas gespült werden, wird ein Absetzen des Staubes auf diesen Komponenten und damit eine Alterung vermieden. Ein Vorteil dieser aufgezeigten Lösung besteht darin, daß nur ein Teil des Gasgemisches gereinigt werden muß, um die gefährdeten Teile sauber zu halten. Weiterhin wird durch die Verwendung eines Elektrofilters kein neuer Prozeß im Kreislauf des Gasgemisches eingeführt bzw. durchgeführt, wie es bei Benutzung der chemischen Abscheidemethoden aus dem Stand der Technik der Fall ist. In einem Elektrofilter befindet sich eine elektrische Glimmentladung, die dazu dient, das Gas bzw. die Staubteilchen zu ionisieren. Dabei findet ein der eigentlichen Laserentladung verwandter Vorgang statt. Die Kollektoren des Elektrofilters bestehen aus Metallplatten, die keine neue Verschmutzung herbeiführen. Die Benutzung nur eines Teils des Lasergases und die Sauberhaltung der Komponenten mit einem Teil dieses Gases führt dazu, daß der Elektrofilter verhältnismäßig klein dimensioniert werden kann. Eine aufwendige und teure Nachfüllung bzw. Wiederaufbereitung des Gases wird dadurch vermieden.

Die Erfundung bezieht sich insbesondere auf die Anwendung bei sogenannten Edelgas-Halogenid-Lasern. Diese Laser arbeiten mit Gasgemisch, das sich aus Edelgasen und aus Halogen-Gasen zusammensetzt.

Ein Ausführungsbeispiel der Erfundung ist in der Zeichnung dargestellt und wird im folgenden näher beschrieben. Es zeigt

Fig. 1 eine schematische Darstellung des Lasers mit seiner Reinigungsvorrichtung und

Fig. 2 ein Diagramm mit der Darstellung der Energie pro Laserschuß in Abhängigkeit von der Schußzahl.

In Fig. 1 ist in schematischer Darstellung ein Entladungsgefäß dargestellt, welches mit einem Gasgemisch 2 gefüllt ist. Das Entladungsgefäß 1 wird an beiden Enden durch optische Komponenten in Form von Fenstern 3 begrenzt, in deren Nähe Gaseinlässe 4 so angeordnet sind, daß die Fenster 3 von dem hier eintretenden Gasstrom bespült werden können. Es ist ein weiterer Gaseinlaß 5 am Gefäß 1 vorgesehen, der mit einem Dosierventil 6 ausgestattet ist. Der Gaseinlaß 5 dient dem Einfüllen des Gasgemisches 2.

Das Entladungsgefäß 1 besitzt auch einen Gasauslaß 7, der mit einer Pumpe 8 in Verbindung steht, der ein Elektrofilter 9 nachgeschaltet ist. Von dort führen Leitungen 10 und 11 über Ruhezonen 12 zu den Gaseinlässen 4 im Bereich der Fenster 3. Es ist ersichtlich, daß der Elektrofilter 9 selbst eine im Querschnitt stark erweiterte Ruhezone darstellt, so daß auf die gesonderte Anordnung der Ruhezonen 12 in den Leitungen 10 auch verzichtet werden kann.

Während des Betriebes wird das Gasgemisch 2 oder ein Teil desselben durch die Pumpe 8 abgesaugt. Die

mit transportierten Staubpartikel werden in dem Elektrofilter 9 abgeschieden, ohne daß eine Gaskomponente mit abgeschieden wird. Bereits im Elektrofilter 9 und/oder in den nachgeschalteten Ruhezonen 12 tritt eine Regenerierung des Gases ein, so daß durch die Leitungen 10 die Fenster 3 mit gereinigtem Gas gleicher Zusammensetzung bespült und damit freigehalten werden können, wie es sich als Gasgemisch 2 innerhalb des Entladungsgefäßes 1 befindet. Die beschriebene Reinigung und Regenerierung wurde an einer typischen Excimer-Gasentladung getestet. Das Ergebnis ist in Fig. 2 dargestellt. Auf der Ordinate ( $y$ ) ist die Energie pro Laserschuß wiedergegeben. Die Abszisse zeigt die Schußzahl. In gestrichelter Linienführung ist die Lebensdauerkurve eines XeCl-Lasers (Ohne Elektrofilter) dargestellt. Man erkennt, daß die Laserenergie bei einer Schußzahl von ca.  $3 \times 10^6$  Schüsse auf etwa die Hälfte sinkt. In durchgezogener Linienführung ist die Lebensdauerkurve eines derartigen Lasers mit Reini-

gung und Regenerierung dargestellt. Man erkennt daß hierdurch die Lebensdauer des Gases um den Faktor 3 erhöht erhöht ist. Der Abfall der Energie ist hierbei nicht mehr auf die Verschmutzung der optischen Komponenten zurückzuführen, sondern erklärt sich durch eine Aufzehrung des Lasergases. Die Transmission der Fenster 3, die ein Maß für die Reinheit der Oberfläche darstellt, hat sich bei der gestrichelten Kurve nach  $3 \times 10^6$  Schuß um 30 Prozent verringert, während sie im Falle der durchgezogenen Linie mit Elektrofilter und Ruhezone sich überhaupt nicht gegenüber dem ersten Schuß verändert hat. Damit ist nachgewiesen, daß mit der aufgezeigten Anordnung eine Rein- und Sauberhaltung der optischen Komponenten mit sehr gutem Erfolg erreicht wird, und zwar bei sehr geringem Aufwand. Außerdem entsteht hierdurch keine zusätzliche Verunreinigung des Lasergases gegenüber dem normalen Betrieb.

Hierzu 1 Blatt Zeichnungen